

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-265299

(43) 公開日 平成8年(1996)10月11日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J	14/00		H 0 4 B	9/00
	14/04		H 0 4 J	1/05
	14/06			
	1/05			

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 12 頁)

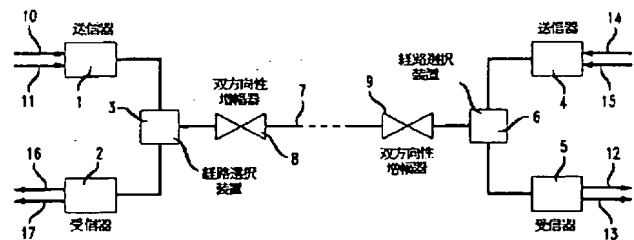
(21) 出願番号	特願平8-36013	(71) 出願人	390035493 エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション AT&T CORP. アメリカ合衆国 10013-2412 ニューヨーク ニューヨーク アヴェニュー オブ ジ アメリカズ 32
(22) 出願日	平成8年(1996)2月23日	(72) 発明者	クリントン ランディ ギルズ アメリカ合衆国 07751 ニュージャージー, モーガンヴィル, ユーコン テラス 4
(31) 優先権主張番号	08/393616	(74) 代理人	弁理士 岡部 正夫 (外2名)
(32) 優先日	1995年2月23日		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 複数チャンネルの光ファイバー通信

(57) 【要約】

【課題】 分散シフトされたファイバー (DSF) は WDM 動作を厳しく制限する。その分散をゼロにすることは、色分散による容量制限を最小にする際に重要だが、4 波長混合 (4 WM) による劣化を悪化させ、チャンネル間のビートから生じる電力面の不利益が、予期される 4 チャンネル動作を実効的に妨げる。この困難性を解決する。

【解決手段】 WDM 光ファイバー通信は、単一のファイバーの中に反対の伝送方向に少なくとも 2 つの WDM チャンネルをもつ双方向性伝送を必要とする。片方向伝送と比較して、多くの容量制限事項が緩和される。地中の分散シフトされたファイバーを使用した動作は、従来の片方向の WDM のシステム容量を許容する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 送信器、受信器、少くとも一つのスパンの伝送ファイバーを含む、システム波長での動作のための光ファイバー通信システムであって、該スパンのファイバ損失の相当な部分を補償する少くとも一つの光増幅器を該スパンが含み、システム波長と一緒に包囲するチャンネル波長値の少なくとも 4 チャンネルのセットでの同時動作に備えていて、チャンネル間の波長の間隔が 5 nm 以下であって、少くとも一つのシステム・ファイバーが双方向に少なくとも 4 チャンネルのセットを送信して、該セットは第一の伝送方向に 2 チャンネルと第二の伝送方向に 2 チャンネルを含んでいて、そして、光増幅器が同時に全セットのチャンネルを増幅する、ことを特徴とする、光ファイバー通信システム。

【請求項 2】 該スパンの長さが少くとも 90 km であり、デジタル信号が送信され、該システムが少くとも 2.5 Gb/秒のパワー・チャンネル変調速度を備えていることを特徴とする、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 3】 該スパンの中の光増幅器がファイバー増幅器であることを特徴とする、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 4】 該光増幅器がエルビウム・ドープされたファイバー増幅器であることを特徴とする、請求項 3 記載のシステム。

【請求項 5】 該スパンの中の該ファイバーの色分散がシステム波長で 1.5 ps/nm-km 以下であることを特徴とする、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 6】 該ファイバーが分散シフトされたファイバーであることを特徴とする、請求項 5 記載のシステム。

【請求項 7】 追加／削除の装置を持ち、その装置は第一および第二の伝送方向の各々に、少くとも 1 チャンネルの追加／削除を備えていることを特徴とする、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 8】 障害位置に対する光時分割反射率測定 (OTDR) に専用される少くとも一つの追加のチャンネルを含むことを特徴とする、請求項 7 記載のシステム。

【請求項 9】 OTDR で発見された障害に反応する該スパンの代理に信号を送るための手段を含むことを特徴とする、請求項 8 記載のシステム。

【請求項 10】 少くとも一つのシステム・ファイバーが、4 チャンネル以上のセットを送信することを特徴とする、請求項 4 記載のシステム。

【請求項 11】 該セットが、第一の伝送方向に 4 チャンネルと第二の伝送方向に 4 チャンネルの、少くとも 8 チャンネルを含むことを特徴とする、請求項 10 記載のシステム。

【請求項 12】 公称システム波長が 1550 nm であることを特徴とする、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 13】 該システムが、第二のシステム波長を持つ第二のセットのチャンネルの伝送のために備えていることを特徴とする、請求項 12 記載のシステム。

【請求項 14】 公称システム波長が 1310 nm であることを特徴とする、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 15】 チャンネル伝送方向が少くとも二回、チャンネル波長の昇順の中で変化するように、該セットのチャンネルがインターリーブされることを特徴とする、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 16】 システム波長で 1.5 ps/nm-km 以下の色分散を持つ、光学的に増幅されたスパンの光ファイバーを使用した通信方式であって、単一のファイバーの中で少くとも 4 チャンネルでの同時伝送を含み、該チャンネルは該スパンの中に光増幅器のスペクトル領域内で一緒に取り囲まれるチャンネル間波長を有していて、単一ファイバーの中の伝送は、第一の伝送方向に送信する一対のチャンネルと、第二の伝送方向に送信する一対のチャンネルをもつ双方向性であることを特徴とする、通信方式。

【請求項 17】 伝送が、各対の各々の該チャンネルに対して少くとも 2.5 Gb/秒のパワー・チャンネルのビット速度を持つデジタル伝送であることを特徴とする、請求項 16 記載の方法。

【請求項 18】 チャンネル波長の昇順が伝送する方向に少くとも二回変化するように、チャンネルが単一ファイバーの中でインターリーブされることを特徴とする、請求項 17 記載の方法。

【請求項 19】 該スパンの該ファイバーがこの出願の登録日付の前に設置されていて、該ファイバーが分散シフトされたファイバーであることを特徴とする、請求項 16 記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分割多重 (WDM) の光ファイバー通信に関する。

【0002】

【従来の技術】次世代の光ファイバー通信は、波長分割多重化を使用するであろう。十分に近接したチャンネル間の間隔を持ち各々が 2.5 Gビットのデジタル・ビット伝送速度で動作する、4 チャンネルのモデルシステムの方式があり、WDM 全体のセットを 1 個の光増幅器によって同時に増幅することができる。現在使用されている、エルビウム・ドープされたファイバー増幅器 (EDFA) は、12 nm の増幅帯域幅を持ち、最近の製造での帯域幅は 25 nm まで増加している。1 nm 以下の WDM チャンネル間隔は、容量をさらにアップグレードするのに十分な余地を残している。ラーマン増幅は、1310 nm のシステム波長で WDM チャンネルの別々の

セットを許容するために 1550 nm の EDF A 動作を補う研究がなされている。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】一般に使用されている分散シフトされたファイバー (DSF) は WDM 動作を厳しく制限することが最近発見された。まさしくその分散をゼロにすることは、色分散による容量制限を最小にする際に重要だが、4 波長混合 (4WM) による劣化を悪化させ、チャンネル間のビートから生じる電力面の不利益が、予期される 4 チャンネル動作を実効的に妨げる。この困難性は、1994 年 7 月 5 日発行のアメリカ特許、第 5,327,516 号の、有限分散ファイバーの導入により解決される。このファイバーは 4WM を効果的に回避するために十分な分散を備えている。しかし、分散が不十分だと、ビット伝送速度をかなり制限する。新しいシステムは、このファイバーの使用により最大限に予想される WDM 性能を提供する。

【0004】また、すでに設置された DSF を使用している単一チャンネル・システムの WDM アップグレードに関する問題についても言及している。最も有望なアプローチは、他のチャンネルの搬送波と 4WM 生成物との一致を回避するようにチャンネル波長割当てを使用する。審査中のアメリカ特許出願番号 08/199,364、1994 年 2 月 18 日出願、を参照して下さい。4WM が制限されている新しく設置されたシステムに対して、不均等な間隔の形式が有効に適用できる。

【0005】近い将来の商業活動の焦点ではないが、デジタル・システムと同様にアナログも検討中である。

「ファイバーを家庭へ」、たとえばケーブル・テレビは事例的な WDM であり、光増幅はアナログ伝送にも役割を果たしそうである。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】適切に適用された、単一光ファイバー内の双方向伝送は、4WM に分け与えられた制限を緩和する。商業的に製造される双方向性増幅器は、片方向性増幅器よりあまり複雑であったり高価であってはならない。

【0007】直接の含意は、DSF の WDM 容量を許容する地中システム、あるいは、所望の WDM 動作を許容するのに不十分な分散の他のファイバー設計をアップグレードすることにある。

【0008】本発明の複数チャンネルの双方向伝送は、将来のシステムのために容量効果を提供する。これは、いろいろな形式の WDM の可能なシステムの使用を、対応した増加する容量で補うことができる。発明の実施例は、均等と同様に不均等なチャンネル間隔での使用、つまり DSF と同様に有限の分散ファイバーでの使用を含む。

【0009】いろいろな好ましい実施例が説明される。前述したチャンネルの位置づけ、たとえば、所定の増幅器

の帯域幅の予算の範囲内でチャンネル間の間隔を最大にするためのインターリーブされた前進と後進のチャンネルに関する動作を最適化するものがある。

#### 【0010】[用語]

WDM: 近接した間隔のチャンネル、たとえばチャンネル間の間隔が 5 nm 以下を参照して、単一の光増幅器による同時増幅を可能とする。この用語は、通常のシステムに適用されるように 4 個以上の片方向のチャンネルを予想するのにに対して、ここで使用するの、各方向に 2 チャンネルだけを持つ双方向性システムを参照するのに使用する。

【0011】チャンネル: この用語は、WDM セットのチャンネルを記述するために使われる。これらのチャンネルは、回路内の光増幅器の増幅帯域内で適応されるスペクトル幅を一緒に持つ。

【0012】2+2、4+4、等: 単一ファイバー上の前進と後進のチャンネルの数量。(片方向のファイバーが含まれることもあるが、特許請求されたシステムの動作は少なくとも 1 個の双方向性ファイバーに常に依存する。)

【0013】分散: 色分散、主に材料の分散と導波路の分散のリニア効果によると考察される。ここでの説明の目的のために、自己位相変調は、確かにシステム全体の設計の中の関心の因子であるが、考慮されてない。同様に、分散の符号は、分散の補償を除くと概して関心はない。

【0014】有限の分散ファイバー: システムでの波長で 1.5 ps/nm-km から 4 ps/nm-km までの範囲の中の分散をもつファイバー。この用語は、アメリカ特許 5,327,516 のファイバーを含むがこれに限定されない。

【0015】最小の分散ファイバー: 有限の分散ファイバーの範囲の下の分散を持つファイバー。この用語は、最新技術の海底ファイバーと同様に DSF を含む。

【0016】スパン: 光増幅器の間のファイバーの距離、あるいは、分散されたラマン増幅の事例ではポンプ注入ポイントの間のファイバー距離である。

【0017】中継器スパン: 光電気変換または電気光変換の間の距離。検討する「モデルシステム」に対して、中継器スパンの中に 3 個の 120 km スパンがある。

【0018】システム波長: WDM スペクトルの範囲内に(そして、順番に、光増幅器の増幅スペクトルの範囲内に)含まれる動作の公称波長。最新技術の長距離システムは、1550 nm のシステム波長で動作する。予期されるシステムは、シリカ・ファイバーの公称 1310 nm の「ウィンドウ」の中での動作を含むことができる。

【0019】モデルシステム: 4 チャンネルの WDM、2.5 Gb/s のパー・チャンネル・システムで 360 km 以上の中継器スパンを持ち、順番に 3 個のスパンに分

10

20

30

40

50

## 5

割される。この用語は、主として説明を容易にする意図のために使われる。請求項やシステム性能を制限する意図はない。ある条件下では、予期されたスパンがより小さいことやより大きいことがあり、90 km以下から数百kmまである。かなり高いビット伝送速度が許容される。

【0020】一般に、発明の進歩性は、論理上2つのカテゴリに分類される。

カテゴリ1：少くとも一つの方向に2チャンネルを持つ少くとも一つの双方向伝送するファイバーを使用する。カテゴリ1の好ましいシステムは一つ以上の2+2ファイバーを使用しており、従来は4WMでは禁止されたと考えられた容量で動作が許される。この意味で、これは当初のWDMの使用を代表しそうな、4チャンネルの片方向のWDMシステムを置き換える。各方向に2チャンネルを使用することだけで、最近非常に関心が高いWDMの劣化を完全に回避することができる。追加のチャンネルの回避は、チャンネルの搬送波と一致している一対のチャンネルの4WM生成物を排除する。(2チャンネルが4WM生成物を生じるのでわずかな障害が残る、それ自身の中で小さな電力的な不利益を伴う。さらなる議論の中では、カテゴリ1のシステムと動作は4WMの劣化を「回避する」ように記述される。)

ここで、進歩性はすでに設置済のシステムをアップグレードする形式をとることである。カテゴリ1のシステムは、DSFによって例証されるが、実質的なファイバーの分散のスパン距離はシステム波長(おそらく1550 nm)で1.5 ps/nm-km以下である。最新技術の単一チャンネルの海底システムは、およそ1.2 ps/nm-kmの分散のファイバーを使用する。そのような海底システムは、アップグレードの候補である。原則として、等価な3チャンネルの片方向のファイバーがある種の4WM障害を経験することがあるので、カテゴリ1の概念の推進力は2+1ファイバーでの動作に適用できる。両方向の等しいトラヒックの期待は、少くとも音声通信に対して、2+2を優先する。

【0021】カテゴリ2：カテゴリ2のシステムと動作に資格を与えるには、WDMシステム波長で1.5 ps/nm-kmから4 ps/nm-kmの分散を備えている少くとも一つファイバーの中で、双方向伝送を必要とする。そのようなファイバーは、1993年8月31日発行のアメリカ特許第5,240,488によって例証された1550 nmシステムの中で、均等のスパンを持つチャンネルに対して片方向のモデルシステム動作を可能にする。そのようなファイバーの分散は、DSFの置換を許容するように概して十分に低レベルである。本特許の中で、分散は端末の補償によってさらに削減できる。適当な、不均等な間隔とチャンネル割り当てによってアップグレードされたとしても、このファイバーを使用しているシステムは4WM制限を継続する。チャンネル数およ

## 6

び/またはパー・チャンネルのビット伝送速度は、片方向の制限を越えることがある。一般に、動作中のカテゴリ2のシステムは、依然として設置されるシステムに係わる。それらは、各方向に少くとも4チャンネルの伝送を各々提供している一つ以上のファイバーを含むと期待される。インターリーブすることはカテゴリ2のシステムの中でより大きな帰結であり、各々の伝送方向でより大きなチャンネル間の間隔を許容する。片方向の4WM制限を越えるために双方向伝送から利益を得ることができる計画されたシステムは、計画されたシステムに含まれない特性を使用することができる。それらは1550 nmのウィンドウで運用することができて、EDFAを使用する。それらは、ラマン増幅を使用することができて、1310 nmの透明領域で動作する。

【0022】他の様相：反対に方向づけされたチャンネル間の間隔を制限しているブリュアン後方散乱と他の問題は重要でない。チャンネルのインターリーブは、すべての双方向システムに役立つ。各々の伝送方向に少なくとも3つ以上のチャンネルを備えているシステムの中で、4WM制限を削減することに特別な価値がある。同じファイバー上での双方向性動作の便利さは保持される。IEEE光子技術報告第5巻第1号、ページ76-79

(1993)を参照して下さい。リターン・パスが同じファイバー内にある本発明のシステムでは、障害のある場所を見つけるための時間が短くて、ダウン時間を低減できることになる。どのような双方向システムの中でも、4WMによる劣化から相対的に解放されている。全てのパー・ファイバー・チャンネルのどのような一定数に対しても、双方向の動作により大きいチャンネル間の間隔を許容する。これは、チャンネル割り当てに関係なく(チャンネル・インターリーブの有無にかかわらず)真実である。ブリュアン後方散乱、および反対方向のチャンネルを制限する他の要件は、隣接の片方向のチャンネルに対して4WMほどには強制的ではないからである。他の動作要求事項は概して損なわれることもなく、促進されることがある。追加/削除、多重化/多重分離、光時間領域反射率測定(OTDR)、および、概して信号の経路選択のための特定の回路構成が記述される。近接して間隔を置いたWDMシステムは、全チャンネル・セットの同時増幅を許容する際に特別な価値がある。それで、本発明システムの中に一つ以上の光増幅器の編入が熟考される。本発明の概念は、非増幅システムにも、たとえば島を渡るための海底システムにも有効に適用される。これは長距離WDMによって供給されるローカル・ネットワークに適用することができて、そこではWDM多重分離がローカル回線の終端で実行される。

【0023】システム設計：多くの点で、双方向性はシステム改変を少ししか必要としない。アップグレードする際に重要な点は、すでに設置されている従来の増幅器に対する双方向性増幅器の置換が主要な要求条件だとい

うことである。多重化／多重分離装置は、双方向伝送に  
適応させるように設計されなければならない。

#### 【0024】

【発明の実施の形態】図1は、単一の2+2ファイバー  
を使用している双方向システムの一部の系統図である。  
図示したシステム部分は、送信器1、受信器2と経路選  
択装置3で構成される第一の端末を含む。これは、送信  
器4、受信器5、経路選択装置6で構成される第二の端  
末と通信する。通信は、双方向性増幅器8、9に使用さ  
れる単一のファイバー伝送回線7による。送信器と受信  
器は、ファイバー10、11上に第一と第二のWDMチャ  
ネルをもつ送信器1への入力とともに、多重化／多重  
分離するための適切な手段を含む。入力される反対方向  
のチャンネルは、ファイバー12、13上の送信器5に導  
入される。対になった順方向チャンネルは、ファイバー  
14、15上の受信器4を通る。対になった対向のチャ  
ネルは、ファイバー16、17上の受信器2を通る。

【0025】図2は、双方向性増幅器の一つの形式を示  
す。これは、2個の4ポート光サーキュレーター20、  
21を使用して、ポンプ24、26とルーター25、2  
7によってサービスされる、増幅用ファイバー22、2  
3に2個のトラフィック方向を迂回させる。描写された  
システムは、4チャンネル動作を提供する。チャンネルf  
1、f2、f3、f4がインターリーブされるとして示  
されており、f1、f3が一方方向に伝搬しており、f  
2、f4が他の方向に伝搬している。インターリーブさ  
れたチャンネルは、同一の全帯域幅を専有している一方  
で、対となる要素間の間隔を増大させ、多重化／多重分  
離化と同様に光フィルタリング要求条件を緩和させる。  
図示した2+2システムは4WM劣化を回避するので、  
チャンネル間隔は均等にできる。

【0026】ファイバー回折格子28、29、30、3  
1はフィルタとして役立ち、反射とレイリー後方散乱に  
よる発振に対して安定化する。追加／削除の回路は、受  
信器32、33と送信器34、35を含む。送信器と  
受信器の対は、3dBカプラーを通して結合される。低  
レベルの反射回折格子36、37の使用により、OTD  
R機能を可能とする一方、増幅器の利得領域内のOTD  
R波長での増幅器発振を妨げている。

【0027】追加／削除マルチプレクサは、WDMチャ  
ネルを移動し置換するものだが、光増幅器内に埋め込む  
ことができ、あるいは個別の受動素子であってもよい。  
図3の回路は、光フィルタリングとチャンネル後方散乱抑  
制のために2個の6ポートのサーキュレーター38、3  
9を使用する。システム、2+2、は、前進伝送チャネ  
ルf1、f3と、逆進方向チャンネルf2、f4を有す  
る。追加／削除の多重化は、チャンネルf3、f4で実行  
される。f3を削除した後の動作で、信号は、サーキュ  
レーター38のポートp3に到達し、循環して、ポート  
p4に後方反射され、ポートp5に循環して、そして、

ポートp6で循環して削除するために二度目に反射され  
る。スルー・チャンネルf1は、第二の反射を経験せず  
に、ポートp2から循環してポートp3で出力するサー  
キュレーター39に入る。今や新たに変調されたので、  
f3はサーキュレーター39のポートp1を通して導入  
されて、ポートp2へ後方反射されて、f1とともにポ  
ートp3を通して出力される。全く同一の追加／削除機  
能が、反対方向に進行しているチャンネルf4に対して獲  
得される。追加／削除フィルタは回折格子として図示さ  
れており、その通過周波数に従って識別される。両方の  
サーキュレーターのサーキュレーター・ポート2、5に  
結合して示される追加／削除フィルタは、追加／削除チ  
ャネルを選択するために光学的に切り換えることができ  
る。OTDR回折格子は、図2のように両方のサーキュ  
レーターのポートp4に加えることができる。

【0028】図4で、WDMルーター40、41の対  
は、双方向の追加／削除の多重化に使用されて、チャネ  
ル2、3のトラフィックの流れを両方向で追加／削除す  
る。

【0029】追加／削除機能は、波長ルーターを光スイ  
ッチ配列に埋め込むことにより、あるいはスイッチ配列  
を波長ルーターの間に埋め込むことにより作成できる。  
第二の構成が、図5の中で使用される。図示されたよう  
に、f1またはf3チャンネルのいずれも、スイッチ配列  
50の使用によって追加／削除ができる。逆方向トラフ  
ィックのチャンネルf2またはf4のいずれも、スイッチ  
配列51の使用によって追加／削除ができる。これらの  
追加／削除のマルチプレクサから隔離は実現できず、別  
々に備えなくてはならない。追加の波長は、OTDR試  
験を可能にすることを要求される。

【0030】図6は、4チャンネルと8チャンネルの、片方  
向と双方向のWDMシステムに対するチャンネル割り当て  
を比較する。カラム(a)、(d)、(e)が構成され  
る仮説のセットは、WDM劣化によって決定される最小  
の間隔を持つ均等間隔チャンネルのセット、光フィルタ  
能力、最高の帯域幅利用法を仮定する。これらの事例の  
中で、4WM劣化は、チャンネル省略により（たとえば、  
カラム(a)の中でチャンネルf3、f5、f6、f7の  
省略により）、保持されたチャンネルと4WM生成物の一  
致を回避するように制御される。

【0031】カテゴリ1システムの効果は、最初の3つ  
のカラムの中で示される。4チャンネルの片方向送信（カ  
ラム(a)）は、2+2の2つの形式：インターリーブ  
された帯域（カラム(b)）、切り離された帯域（カ  
ラム(c)）と比較される。片方向伝送に対する4WM劣  
化からの相対的な自由は、50%のチャンネル使用を必要  
とする。最小の分散ファイバーを仮定して、不均等なチ  
ャネル間隔がモデルシステムでの動作のために必要であ  
る。同一容量以上が、カラム(b)と(c)の2+2配  
置のいずれかの動作によって達成される。カラム(b)

のインターリーブされたシステムは、より大きなチャンネル間の間隔を備えていて、(4 WM発生による電力損失をわずかに減らすと同様に) フィルタリングを容易にする。カラム(c) システムは現実的な提案であり続けて、システム設計または装置がインターリーブを非実用的にする選択となりえる。

【0032】カラム(d) と(e) は、8チャンネルの双方向性伝送のための2つの可能なチャンネル割り当て方式を示す。8チャンネルの片方向伝送の事例は示されないが、片方向伝送のために専有されるのはチャンネル・スロットの20%以下である。4 WM劣化からの自由は、カラム(a) の片方向方式の前進方向と逆方向のバージョンを結合することによって保証される。カラム(d) の中で、チャンネルはインターリーブされて、結果的に2つの働いていないスロット位置があり、片方向送信に対する20%と比較して80%のスロットが使用されている。カラム(d) の中の一つまたは両方の働いていないスロットは、たとえばOTDRに使用することができ

る。カラム(e) の方式はインターリーブはしないが、2つの伝搬方向に対するWDMセットを切り離している。2つのバンド間(f 8 と f 9 の間) のチャンネル間の間隔、 $\Delta f$  より大きな保護帯域を備えるように修正することがある。カラム(e) 割り当て方式は、利用できチャンネル・スロットの50%を利用する。

【0033】下表は、4 WM劣化を回避するために均等間隔に配置されたセットからチャンネルが割愛される、4つの多重チャンネル・システムに対する特性を要約する。片方向、切り離された帯域をもつ双方向性、インターリーブされた帯域をもつ双方向性が比較される。リストされた基準は以下の通りである。「BW」：均等間隔で配置されたセットに対する全帯域幅。「Eff」：入手できるチャンネル・スロットの利用率(%)。「ルーター」：特定のポートへのユニークな経路選択のために必要なルーターの大きさ。

【0034】

【表1】

チャンネル数

	4	8	16	32
<u>片方向</u>				
BW	8	45	252	1523
Eff	50%	17.8%	6.4%	2.1%
ルーター	5×5	21×21	47×47	134×134
<u>双方向：分離</u>				
BW	4	16	90	504
Eff	100%	50%	17.8%	6.4%
ルーター	2×2	5×5	21×21	47×47
<u>双方向：インターリーブ</u>				
BW	4	10	46	253
Eff	100%	80%	34.8%	12.6%
ルーター	2×2	5×5	21×21	47×47

【0035】双方向伝送のために必要とされるルーターの大きさの減少が認識できる。たとえば、32チャンネルの片方向のシステムは、134×134のルーターを必要とする。これは多くの人々から現状技術を越えているとみなされる大きさである。双方向システムに対しては、必要とされるルーターは47×47である。図7は、21×21のルーターを使用した16チャンネルの双方向性システムに対する経路選択の配置を示す。最新技術の21×21のルーターは、9.4 nmのスペクトル領域を必要とする。好ましい設計、その発明者の名をとって命名した「Dragon」ルーターは、J. Lightwave 技術、1989年第7巻第3号、ページ479-489に記述されている。

【0036】図8は、従来の2回線4チャンネルのパー・ファイバー・システムを示す。これは正しくは、独立している2個の単一ファイバー・システムとして考えられる。第一のものは、送信器80、その関連のWDMセットを導入する増幅器81、追加／削除マルチプレクサ8

2、増幅器83、WDM受信器84から構成される。第二のものは、第一のもののミラー像であり、送信器85、増幅器86、追加／削除マルチプレクサ87、増幅器88、WDM受信器89から構成される。2つの追加／削除マルチプレクサが必要である。各々は、チャンネルf1上で動作し、f2、f3、f4は急ぎのトラフィックのために残している。追加／削除の機能を異なるチャンネルに切り換えるための設計が知られていて、両方の回線のために必要である。いずれの伝送線の障害も、システムを危険にさらす。

【0037】図9は、対応する双方向ネットワークを示す。送信器90、91とWDM受信器92、93の各々は、図8のように全4チャンネルをサービスする。増幅器94、95、96、97はいま双方向であり、図2の設計で可能である。経路選択機能は、たとえば出入りの信号を切り離すために、サーキュレーター98、99、100、101によって実行される。単一の追加／削除マルチプレクサ102だけが必要である。図示した例の中

で、一方方向のチャネル  $f_1$  と反対方向のチャネル  $f_4$  が、追加／削除される。第二の回線の全スパンは、急ぎのトラフィックに割り当てられる。急ぎのトラフィックに対するいくつかの固有の保護があり、これは、2つの回線が物理的に隣接しない所で最大にされる。

【0038】双方向伝送は、どんな『会話』に対する全二重伝送も一つの単一回線の中で提供できる点で、設計の柔軟性を提供する。双方向性伝送は、一つのファイバーの中で一定の方向に伝搬しているチャネルの数を半分にする。ファイバーの中のすべてのチャネルが反射と後方散乱の障害により、依然としてユニークな波長を割り当てられなければならないけれども、送信器と受信器の設計は単純化することができる。たとえば、各送信器に2つのソース波長だけが必要である。しかし片方向の設計のためには4個必要である。各々の送信器は4つの別々のレーザーを含むとして図示されているが、2つの共有されたレーザーが適切である。2つの伝搬方向にチャネル波長をインターリーブすることによって、チャネル間隔、したがって受信器でのフィルタ間隔は2倍にすることができる。これは、4WM障害（図示された2 + 2ファイバーに対する）を回避する一方、フィルタ仕様をかなり緩和することができる。

【0039】送信器90は、追加／削除マルチプレクサを通して該当するレーザーをオン／オフすることによってチャネルの再経路選択を許容するように構成されている。上位レーザー  $f_1$  と低位レーザー  $f_2$  をオンすると、先頭の変調装置からの信号は、追加／削除マルチプレクサでローカル・トラフィックを構成する。送信器91の対応する  $f_1$  と  $f_3$  レーザーをオンすると、3番目の変調装置信号はローカル・トラフィックを構成する。この追加／削除マルチプレクサでのトラフィックの切り換え方法は、高速電気信号の切り換えを必要としない。急ぎの回線のトラフィックの波長を切り換えるので、受信器は正しく通知されなければならない。図示されるように、送信器91は、電気信号を切り換えて同じトラフィックの再経路選択を生じることが要求する。図8の片方向のネットワークに関しては、調整できる追加／削除マルチプレクサに代えることができる。

【0040】以下の例は、片方向と双方向の事例に対する4チャネル通信を比較する。仕様に加えて、テキストは一般化しており、詳細な説明の重要な部分を構成する。

#### 事例

2つの別々の実験が実施された。できるかぎり、同じ伝送線や他の装置が両方に使用された。公称システム波長は1550 nmであった。チャネルを生成するために4個のレーザーが使用された。 $f_1 = 1554.0 \text{ nm}$ 、 $f_2 = 1554.8 \text{ nm}$ 、 $f_3 = 1555.6 \text{ nm}$ 、そして、 $f_4 = 1556.4 \text{ nm}$ 。3個のInGaAsP分散形フィードバック・レーザー（DFB）と1個の調

整可能な外部空洞レーザーがあった。（調整可能なレーザーには特別な目的はなかった。実験をするのに入手できる十分なDFBがなかっただけである）。双方向伝送の中で、ソースはインターリーブされた対の3 dBカプラー、 $f_1 - f_3$  と  $f_2 - f_4$  を通して結合された。チャネル対は、LiNbO<sub>3</sub> Mach-Zehnder 変調装置を通して外部で変調された。変調速度は、 $2^{23} - 1$  の疑似乱数ビット・ストリームをもつ2.5 Gb/sであった。（指示された長さの反復する変遷をもつ疑似乱数）。これは現実の条件を近似するある程度のチャネル間の非相関を保証した。

【0041】ファイバーのスパン距離は100 kmであって、0.22 dB/kmの平均損失をもつDSFから構成され、実効コア面積は50  $\mu\text{m}^2$  であり1551.8 nmで分散ゼロとされた。EDFAは、8 dBmまでパー・チャネル電力を押し上げた。

【0042】2チャネルの多重分離装置と双方向性送信器の端末は、3ポートの光サーキュレーターとバンドパス・ファイバー回折格子を使用した。ファイバー回折格子は、（サーキュレーターの回折格子集合を提供する）チャネル波長で100%の反射と、0.8 nm、-3 dBの帯域幅と、30 dB以上の隣接チャネル除去比を備えていた。ローカル送信器から反射散乱およびレイリー散乱された光は、送／受信器のサーキュレーターと多重分離装置の間の1554.0 nmと1555.6 nmのファイバー回折格子ロック・フィルタによって、ローカル受信器に到達することを妨げられた。多重分離装置のための挿入損失は1554.8 nmポートに対して2.9 dBであり、1556.4 nmポートに対しては1.8 dBであった。送信器からファイバーへの送受信器サーキュレーターを通しての損失は1.1 dBであった。ファイバーからロック・回折格子への送受信器サーキュレーターを通しての損失は、2.0 dBであった。

【0043】結果をグラフに示す。片方向伝送を図10、図11、双方向性伝送を図12、図13、図14に示す。図はすべて、光電力をdBmで、波長をnmとした座標である。

【0044】図10にプロットした結果は、100 km伝送後の光スペクトルを示す。第二のチャネル（1554.8 nm）に対する電力面の不利益はそのチャネルをオフすることによって測定され、それによってそのスロット位置で妨げている4WM生成物だけを残した。すべてのチャネルをオンしたときの測定値が実線である。第二のチャネルをオフしたときの測定値が破線で示されている。4チャネルから3チャネルに行くとき、4WM生成物の数にいくつかの減少がある。（第二のチャネルをオフしたとき）。これは、チャネル波長の外の領域の曲線と比較することにより明白である。図11は、多重分離装置の1554.8 nmポートでの、1554.8 n

10

20

30

40

50

13

mチャンネルを再びオン／オフしたときのスペクトルのプロットである。劣化は著しい。

【0045】今、双方向伝送の結果を参照すると、図12は1554.8nmチャンネルをオン／オフしたときのスペクトルを図示する。上の曲線は、100km伝送後の順方向の1554.0nmと1555.6nmチャンネルを示す。弱い4WM生成物が2つだけが見える。チャンネルのブロッキング・フィルタは、チャンネル波長、4WM、レイリー後方散乱の生成物の外部の信号だけを通して、図12の低いスペクトルは、その位置での測定値からプロットしたものである。

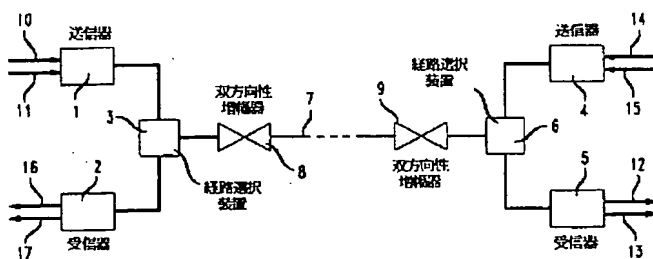
【0046】図13は、ブロッキング・フィルタの後のスペクトルを示す。しかし、1554.8nmと1556.4nmチャンネルをオンしている。実線のスペクトルは、1554.0nmと1555.6nmのチャンネルをオフして測定された。破線のスペクトルは、すべてのチャンネルをオンにして測定された。追加のチャンネルをオンしたときの唯一の影響は、レイリー後方散乱を下げることである。

【0047】図14は、1554.8nmと1556.4nmの多重分離されたチャンネルを示す。1554.8nmチャンネルに対する唯一の妨害は、1556.4nmチャンネルの-33dBリークであった。ビット誤り率が片方向と双方向の伝送に対して比較された。重要な劣化は、4チャンネルの片方向送信に対して発生した。獲得できる最も低い受信器感度の不利益は、1.6dBであった。(劣化はチャンネルの極性に関係がある)。対照的に、測定された1554.8nmチャンネルに対しては劣化は観測されなかった。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】各方向に2チャンネル(2+2)を持って動作している双方向ファイバーの系統図である。(回路は、単一のファイバー・システム全体またはサブシステムを構成することができ、一つ以上の追加のファイバーと共に動作することができる。)

【図1】



14

【図2】図1のシステムでを使用することのできる双方向性増幅器の一つの形式を示す詳細な図である。

【図3】光サーキュレーターとファイバー回折格子フィルタを使用している、双方向の追加／削除のマルチプレクサを示す回路の図である。

【図4】図3の代替物であり、サーキュレーターというよりWDMルーターから構成される回路の図である。

【図5】図3と図4の追加／削除の能力を持つもう一つの回路の図である。

【図6】いろいろなチャンネルの割り当て方式を示す表である。

【図7】16チャンネルの双方向性システムのための、実例となるインターリーブされたチャンネル割り当てとルーター・ポートの利用法を示す図である。

【図8】2個のファイバー、8チャンネル、片方向のシステムの回路の図である。

【図9】2個のファイバー、8チャンネル、双方向のシステムの回路の図である。

【図10】事例の中で片方向と双方向の伝送に対する相対的な信号劣化をプロットするグラフである。

【図11】事例の中で片方向と双方向の伝送に対する相対的な信号劣化をプロットするグラフである。

【図12】事例の中で片方向と双方向の伝送に対する相対的な信号劣化をプロットするグラフである。

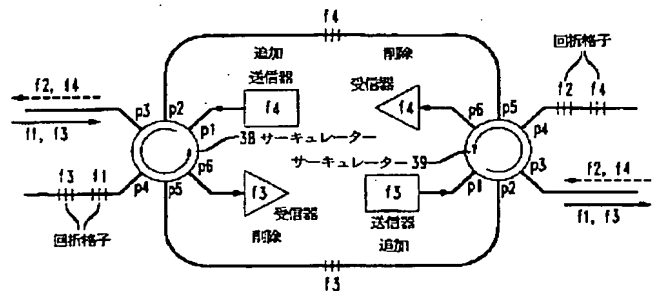
【図13】事例の中で片方向と双方向の伝送に対する相対的な信号劣化をプロットするグラフである。

【図14】事例の中で片方向と双方向の伝送に対する相対的な信号劣化をプロットするグラフである。

#### 【符号の説明】

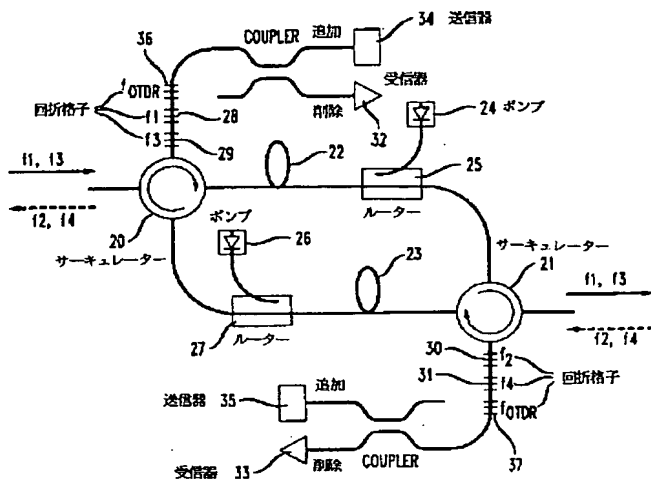
- 1、4 送信器
- 2、5 受信器
- 3、6 経路選択装置
- 7 光ファイバー伝送回路
- 8、9 双方向性増幅装置
- 10～17 光ファイバー

【図3】

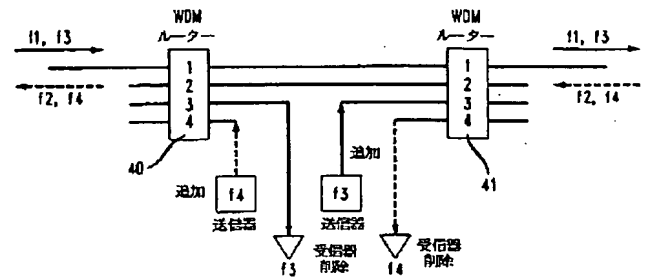




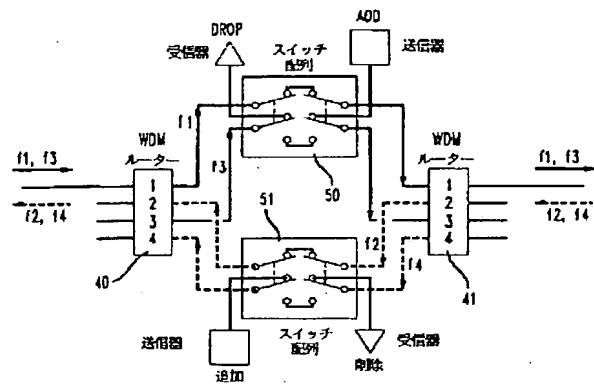
【図 2】



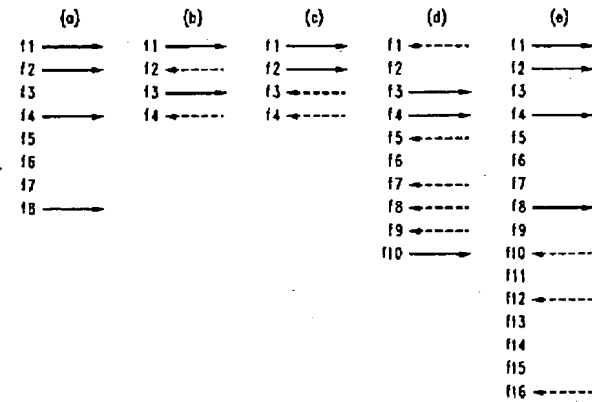
【図 4】



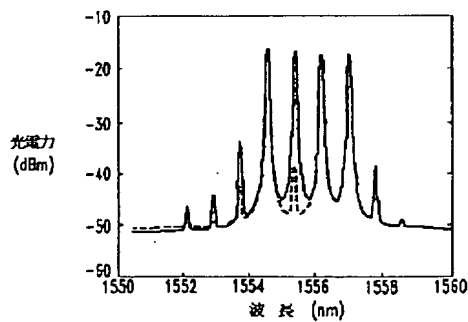
【図 5】



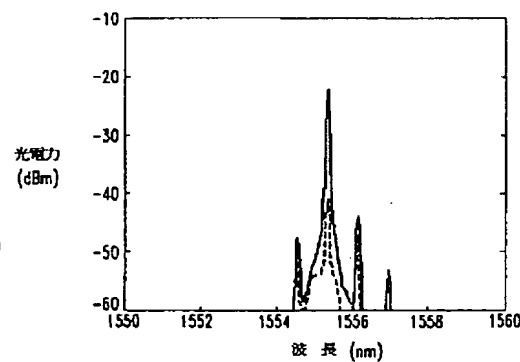
【図 6】



【図 10】

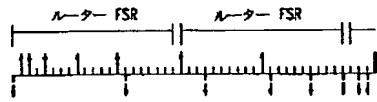


【図 11】

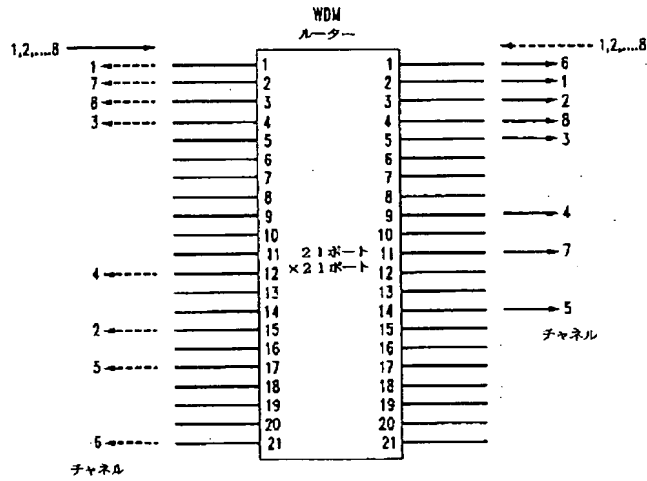


【図 7】

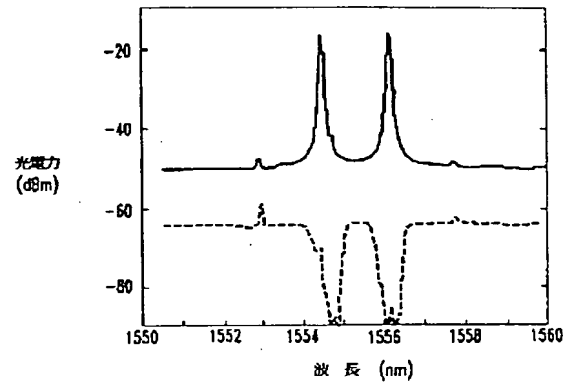
双方向性 16 チャンネル インターリーブ



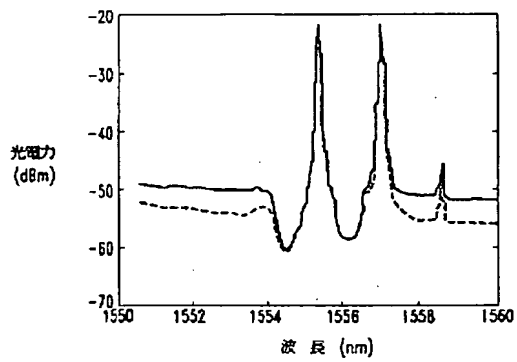
21x21 ルーター・ポートの利用



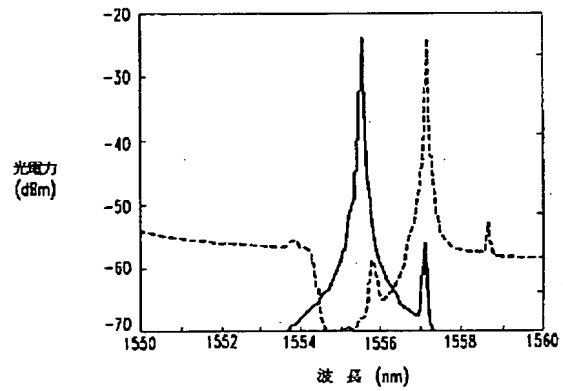
【図 1 2】



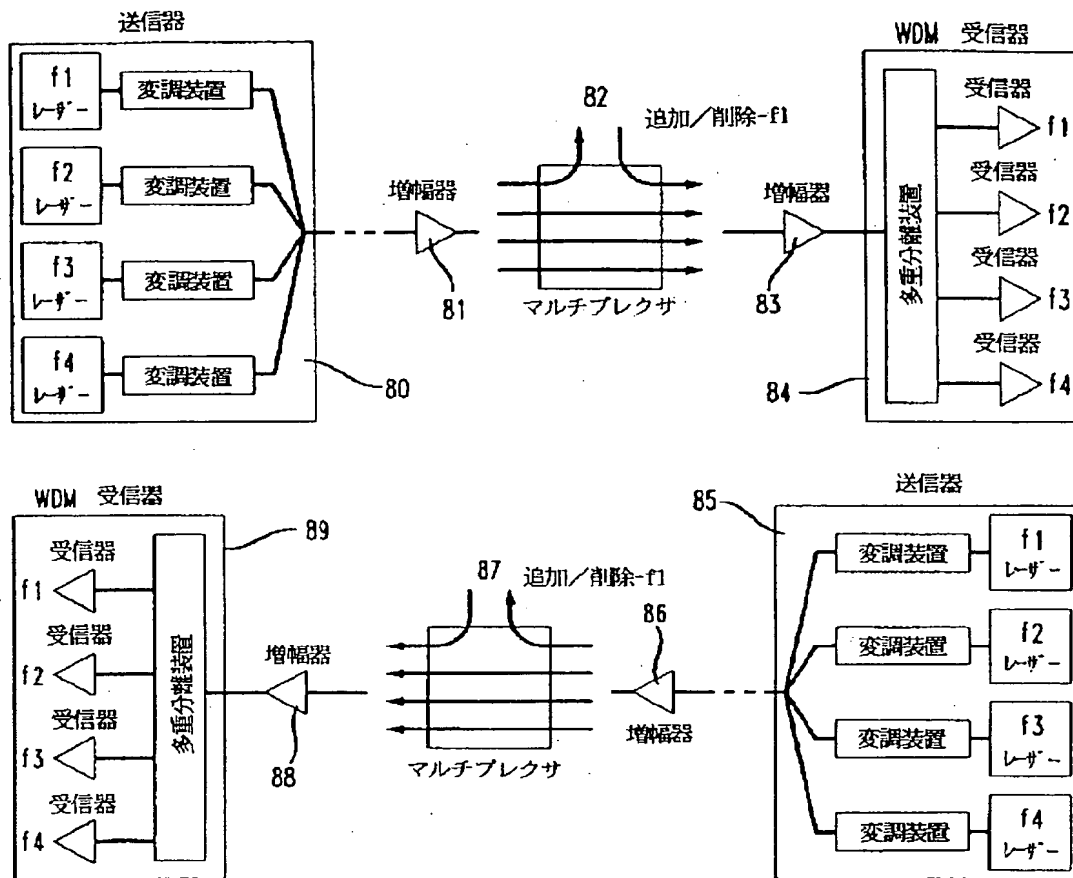
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 8】



【図 9】

